

ОЦЕНКА СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ КАПИЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР ТЕПЛОВЫХ ТРУБ

БНТУ, г. Минск

Наиболее сложным в конструктивном плане элементом тепловой трубы (ТТ) является капиллярная структура (КС). В современных тепловых трубах наиболее распространены КС, изготовленные на основе сеток, металлического войлока, порошков, а также выполненные конструкционным образом. Из перечисленных КС наиболее простыми являются конструкционные, которые представляют собой систему канавок, выполненных на внутренней поверхности корпуса ТТ. Конструкционные капиллярные структуры обладают высоким коэффициентом теплопроводности, однако создают небольшое капиллярное, что ограничивает область их применения. Анализ существующих способов получения КС показал, что на современном уровне развития технологии наиболее перспективными являются методы порошковой металлургии [1, 2]. Основными материалами, которые применяются для изготовления КС, являются нержавеющая сталь, медь, никель, титан. В таблице 1 приведены основные характеристики КС ТТ из порошков титана и никеля [3]. Предел прочности таких материалов составляет 5-15 МПа.

Основными операциями, которые входят в процесс изготовления КС из металлических порошков, являются: выбор порошка с подходящим гранулометрическим составом и физико-химическими свойствами, компактирование, прессование и спекание.

Производство КС из никелевых (рисунок 1) и титановых порошков требует существенных энергозатрат и специального оборудования, например, вакуумные печи для спекания

и прессовое оборудование для компактирования волокон и порошков в КС.

Таблица 1 – Основные характеристики КС ТТ

Порошок	Размер частиц порошка, мкм	Пористость, %	Средний диаметр пор, мкм	Коэффициент проницаемости, $K \times 10^{-13}, \text{м}^2$	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м×К)
ТТМ	23 – 26	60 – 68	53 – 7,0	8 – 18	0,6 – 1,2
ТТОМ	15 – 18	56 – 63	3,5 – 4,8	4 – 8	0,8 – 1,5
ТНК1Л5	9,5	58 – 67	1,3 – 1,7	0,5 – 1,0	5 – 10
ТНК1Л6	6,6	60 – 67	1,1 – 1,4	0,4 – 0,7	5 – 8
ТНК1Л7	5,4	60 – 67	0,83 – 1,3	0,2 – 0,6	–
ТНК1Л8	5,2	62 – 67	0,72 – 1,1	0,2 – 0,4	–

Размещение КС в корпусе ТТ также сопряжено с рядом технологических трудностей. Так запрессовку КС в корпус испарителя сложно осуществить без ее разрушения, кроме того контакт КС и корпуса испарителя имеет большое тепловое сопротивление. Поэтому предпочтительным является формование и спекание КС непосредственно в корпус испарителя. Серьезной проблемой также является усадка при спекании, в результате

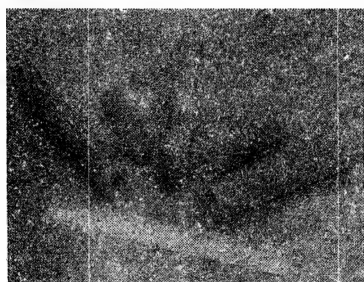


Рисунок 1 – КС ТТ из порошка никеля (Институт теплофизики УрО РАН)

которой на границе между КС и корпусом испарителя возникают крупные поры, которые уменьшают капиллярное давление в КС.

Постоянное увеличение тепловых нагрузок и длин ТТ приводят к тому, что существующие конструкционные и вставные типы КС не обеспечивают соответствующий транспорт жидкости. Для решения этой проблемы используются

комбинированные КС, имеющие, в отличие от описанных ранее, капиллярно-артериальную структуру, т.е. помимо КС, расположенной на стенке корпуса ТТ, содержащие специальные транспортные артерии [4]. Комбинированная КС может быть образована пористым экраном, между которым и стенкой корпуса ТТ образован канал достаточно большого поперечного сечения [5].

Противоречивые требования, предъявляемые к КС, можно сформировать как требование наличия максимальной проницаемости пористого порошкового материала, из которого изготовлена КС, при заданном размере пор. Один из методов повышения проницаемости – создание структур с порами одного размера [6], для чего целесообразно использовать порошки с узким интервалом размеров частиц, а также порошки со сферической формой частиц. Помимо вида исходного порошка, характер порораспределения во многом зависит от способа получения ППМ. Для изготовления ППМ с узким порораспределением используются различные методы формования, которые можно разделить на две группы: с приложением и без приложения давления. К первой группе относятся такие методы, как гидростатическое [7] и гидродинамическое прессование [8], а также изостатическое прессование в толсто-стенных эластичных оболочках и др. Методы формования ППМ без приложения давления являются более экономичными, поскольку не требуют применения сложного прессового оборудования и оснастки. Наиболее простым способом получения ППМ с высокой степенью однородности поровой структуры является способ спекания порошка, свободно насыпанного в форму [9]. Способ прост, технологичен, позволяет получать материалы с открытой пористостью 50-55%. Добиться выравнивания размеров пор можно посредством различных дополнительных воздействий на ППМ, например, пластически деформированием. При этом коэффициент проницаемости, а также минимальный размер пор практически

не меняется, в то время как капиллярное давление за счет уменьшения максимального размера пор увеличивается на 15-20%. Перечисленные выше способы получения ППМ с узким порораспределением позволяют получать материалы, имеющие повышенную проницаемость при заданном размере пор, однако повышение проницаемости при этом невелико и не превышает 50%.

Наиболее эффективным направлением повышения капиллярных и проницаемых свойств ППМ является создание неоднородных по объему структур, у которых размер пор изменяется в заданном направлении [10]. Капиллярные свойства таких материалов определяются минимальным размером пор, а их проницаемость намного выше, чем изделий с однородной поровой структурой и теми же капиллярными свойствами. Наиболее распространенными материалами и неоднородной структурой являются многослойные ППМ, слои которых выполнены из порошков разного гранулометрического состава [11]. Технология изготовления таких ППМ включает послойное формование заготовок из порошков различного гранулометрического состава и последующее спекание либо поэтапное припекание пористых слоев друг к другу, начиная со слоя, состоящего из наиболее крупных частиц, и далее в сторону убывания их размеров [12]. Однако эти способы получения многослойных ППМ обладают рядом недостатков. Так, способ, основанный на поэтапном припекании слоев, не позволяет получить достаточную механическую прочность изделия и малопроизводителен, так как требует многократного применения длительной операции спекания. Способ послойного формования хотя и позволяет получать изделие за одно спекание, однако из-за различного поведения слоев не дает требуемого комплекса физико-механических свойств (механическая прочность, теплопроводность), что снижает качество изделий, и в ряде случаев приводит к технологическому браку – неспеканию слоев из частиц большего размера или пережогу

слоев частиц среднего размера, а также короблению изделий. Наиболее высокими транспортными свойствами обладают ПКС с плавно меняющимся вдоль оси НТТ порораспределением [13]. Для получения ППМ с плавно меняющимся по объему размером пор разработан способ, основанный на применении вибрации в процессе формования [14]. При определенных режимах вибрации частицы порошка разного размера перемещаются относительно друг друга, что приводит к перераспределению их таким образом, что мелкие частицы опускаются вниз, а крупные поднимаются вверх. В работе [15] авторы предлагают для получения однородного ППМ применять гидровзрывной способ. Разработаны также способы получения ППМ с переменным по объему порораспределением путем пластического деформирования пористой заготовки [16]. Недостаток указанных способов – низкая пористость и, как следствие, низкая проницаемость конечного изделия. Анализ рассмотренных способов получения ПКС показал, что наиболее перспективными с точки зрения обеспечения повышенных эксплуатационных характеристик ТТ являются разработки, направленные на создание КС с переменным по объему порораспределением.

Значительный интерес представляют КС из неметаллических материалов, получаемые, например, с помощью гелевой технологии. Так, авторы [17, 18] для получения КС предложили использовать в качестве основного материала оксид алюминия, нанесенный в виде тонкого слоя на внутреннюю поверхность алюминиевой тепловой трубы с аксиальной канавчатой структурой. Этот материал химически пассивен в контакте с большинством теплоносителей, таких как, например, аммиак, вода, пропилен, ацетон, а также спирты, включая этанол, метанол и т.п. Авторами впервые проанализированы и обобщены результаты исследований структурных, теплофизических, капиллярно-транспортных и прочностных свойств КС на основе оксида алюминия. Проведены комплексные экспериментальные исследования теплотехнических

характеристик контурных тепловых труб (КТТ) с капиллярными насосами, в которых применялись разработанные КС. Разработаны методы повышения эффективности алюминиевых КТТ по результатам физического моделирования тепловых процессов в зоне испарения КТТ, а также предложена новая двухмерная математическая модель процессов теплопередачи для анализа температурного поля корпуса КТТ. Для формирования КС использовали порошки оксида алюминия со средним размером частиц 5 мкм и 0,5 мкм, спеченные на воздухе. Коэффициент проницаемости спеченного материала составил $(0,3-0,7) \times 10^{-13} \text{ м}^2$, коэффициент теплопроводности 1,2-2,1 Вт/(м×К), размер пор, определенный методом ртутной порометрии, составил 4-6 мкм, пористость – 60-65%. Механическая прочность спеченного материала при сжатии в зависимости от пористости в диапазоне пористости КС 55-75 % для спеченных образцов диаметром 12 мм и высотой 12 мм составила 9...24 МПа для порошка со средним размером частиц 5 мкм и 18...27 МПа для порошка со средним размером частиц 0,5 мкм. Необходимо отметить, что в указанных публикациях не приводятся режимы компактирования и спекания, а также не указывается, каким образом КС размещена в корпусе ТТ. Однако сама идея формирования КС на основе оксида алюминия представляет значительный интерес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов, Ю.Ф. Капиллярно-пористые фитили для низкотемпературных тепловых труб / Ю.Ф. Герасимов [и др.] // Сб. трудов вузов Российской Федерации / Уральский политех. институт им. С.М. Кирова. – Свердловск, 1976. – Атомная и молекулярная физика. – С. 104-106.
2. Майданик, Г.Ф. Основы технологии изготовления антигравитационных тепловых труб с отдельными каналами / Г.Ф. Майданик [и др.] // Сб. науч. тр. / ФЭИ. – Обнинск, 1980.

- Ч. 2: Теплофизические исследования – тепловые трубы: теплообмен, гидродинамика, технология. – С. 114-151.

3. Майданик, Ю.Ф. Контурные тепловые трубы и двухфазные теплопередающие контуры с капиллярной прокачкой: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 01.04.14 / Ю.Ф. Майданик; МЭИ. – М., 1993. – 47 с.

4. Воронин, В.Г. Низкотемпературные тепловые трубы для летательных аппаратов / В.Г. Воронин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 200 с.

5. Тепловая труба: а.с. 892182 СССР. / М.Н. Ивановский, В.В. Просветов, А.И. Строжков // Открытия. Изобретения. – 1981. – № 47.

6. Шелег, В.К. Моделирование -- важный этап создания порошковых пористых материалов с требуемым комплексом свойств / В.К. Шелег [и др.]. // Порошковая металлургия. – Минск: Вышэйшая школа, 1981. – Вып.5 – С. 145-149.

7. Розанов, Б.В. Технология и оборудование для гидростатического прессования / Б.В. Розанов, Л.Ю. Максимов. – М.: ИИИинфортяжмаш, 1971. – №11–70–7. – 62 с.

8. Роман, О.В. Особенности расчета параметров нагружения при гидровзрывном прессовании тонкостенных элементов сложной формы / О.В. Роман [и др.]. // Порошковая металлургия. – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – Вып.4. – С. 3-7.

9. Витязь, П.А. Выбор оптимальных параметров спекания свободнонасыпанного порошка с применением ЭВМ / П.А. Витязь, А.Х. Насыбулин, В.К. Шелег // Порошковая металлургия. – Минск: Вышэйшая школа, 1978. – Вып.2. – С. 66-74.

10. Капцевич, В.М. Исследование и разработка процесса регулирования порораспределения в проницаемых материалах: дисс. ... канд. техн. наук. / В.М. Капцевич. – Минск, 1980. – 213 с.

11. Арэнсбургер, Д.С. Металлокерамические фильтры из титана / Д.С. Арэнсбургер, В.С. Пугин, А.А. Гатушкин // Порошковая металлургия. – 1969. – № 10. – С. 93-99.

12. Способ изготовления методом порошковой металлургии многослойных пористых формованных изделий: патент ФРГ № 1458295. – опубл. 27.04.72.

13. Пористая структура тепловой трубы с градуированным размером пор: патент США № 41170262. – опубл. 09.10.79.

14. Шаталов, И.Г. Физико-химические основы вибрационного уплотнения порошковых материалов / И.Г. Шаталов, Н.С. Горбунов, В.И. Лихтман // Порошковая металлургия. – 1966. – № 2 – С. 15-20.

15. Роман, О.В. Прессование осесимметричных изделий гидровзрывным методом / О.В. Роман, А.А. Мальцев, В.Т. Шмурадко // Порошковая металлургия. – Минск: Вышэйшая школа, 1978. – Вып.2. – С. 3-7.

16. Способ изготовления спеченных пористых изделий: а.с. 982258 СССР. / П.А. Витязь [и др.].

17. Chayrnasov, S.M. Experimentation of LHP / S.M. Chayrnasov, E.N. Pismenny, Yu.E. Nicolaenko, B.M. Rassamakin // CTSP and TSP. Tech. Jour. – January, 1999. – P. 57-61.

18. Хайрнасов, С.М. Теплогидравлические процессы в контурных тепловых трубах с капиллярным насосом на основе оксида алюминия: автореф. дис. ... канд. техн. Наук: 05.14.06 / С.М. Хайрнасов; Нац. техн. ун-т Украины. Киев. політехн. ін-т. – Киев, 2003. – 20 с.

УДК 691.421.2

Васильев А.А.

БЛОК СТЕНОВОЙ ТРЕХСЛОЙНЫЙ С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ

БелГУТ, г. Гомель

There were considered the main types of constructions of frame building wall barriers. It is shown the thickness inadequacy of existing wall barriers of frame buildings with protecting brick facing for necessary value of resistance for heat transfer. There was offered